

# **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ**

*М.Е. Коржова*

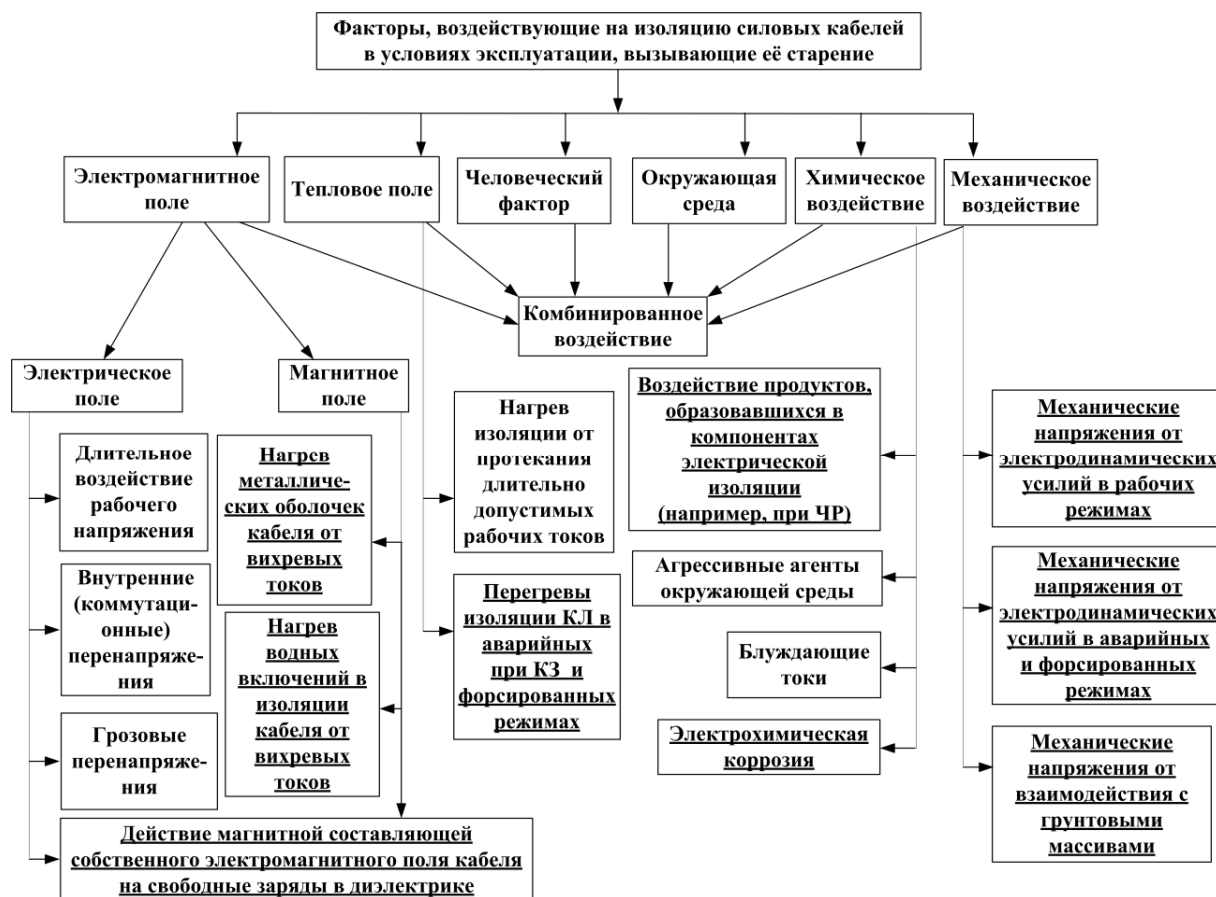
Кабельные линии (КЛ) относятся к дорогостоящим, ответственным и долговременным элементам систем электроснабжения. Как известно, запас прочности кабелей рассчитывается в процессе конструирования и проектирования на основании научных исследований; на стадии изготовления он принимает конкретное значение. Этот запас и определяет уровень надёжности кабелей при эксплуатации. В реальных условиях эксплуатации на протяжённый кабель, проложенный непосредственно в земле, воздействует множество факторов. Они вызывают в изоляции сложные процессы, следствием которых являются постепенные и необратимые изменения свойств, приводящие к её старению и последующему пробою вне зависимости от типа изоляции.

Различные виды воздействия вызывают разные по содержанию процессы в изоляции КЛ. Соответственно различают электрическое, тепловое, химическое, механическое и комбинированное старение изоляции (рис. 1).

При эксплуатации системы электроснабжения очень важно управлять риском возникновения аварийных ситуаций и оценивать их последствия. Для этого необходимо управлять всеми причинами аварий и последствиями от этих аварий, характеризуемые определённым видом риска. Необходимо учитывать: колебания климата (температуры, влажности, давления); земляные работы, подвижки грунта; химическую активность грунта; ошибки в проектировании; заводские дефекты, стихийные явления; прочие внешние факторы; перенапряжения; перегрузки; токи коротких замыканий; старение и износ; токи замыкания на землю; протяжённость электрической сети; конфигурацию схемы сети; вид изоляции; прочие внутренние факторы; некачественный монтаж; некачественный ремонт; ошибочные действия персонала; неудовлетворительную организацию; нарушения правил техники эксплуатации; нарушение трудовой дисциплины; недостаточ-

ное ресурсное обеспечение; уровень подготовленности персонала; прочие эксплуатационные факторы.

Для управления риском возникновения аварийных ситуаций, связанных с человеческим фактором, то есть в условиях неопределённости, широко используются методы теории вероятности и математической статистики. Эти методы предполагают вероятностную интерпретацию обрабатываемых данных и полученных статистических выводов.



Факторы, воздействующие на изоляцию

Так, в [2] для оценки качества работы электромонтёра-кабельщика использовался расчёт вероятностей отказа выполненных им муфт в зависимости от месяца монтажа по числу смонтированных и демонтированных муфт по формуле Байеса.

Однако при прогнозировании влияния человеческого фактора необходимо учитывать опыт работы, уровень квалификации электромонтёра, степень ответственности при выполнении определённого типа работы, умение анализировать и оценивать сложившуюся в данной кабельной сети ситуацию и принимать правильное решение.

Поскольку информация характеризуется высоким уровнем неопределённости, то возрастает необходимость в новых подходах к математическому описанию информации. К ним можно отнести такие, как «оценка и

упорядочение альтернатив при аддитивности критериев», «выбор альтернатив с использованием правила нечёткого вывода», «ранжирование альтернатив на основе эвристического подхода» и некоторые другие.

Один из подходов для решения данной задачи может основываться на описании математической модели «принятие решений» следующим образом.

Под принятием решений будем понимать выбор одной альтернативы из полученного или заданного множества альтернатив. Тогда решение задачи сводится к выявлению и исследованию предпочтений лица, принимающего решения, а также к построению на этой основе адекватной модели выбора наилучшей в некотором конкретном смысле альтернативы.

Анализ альтернатив происходит в случае, когда критериальные оценки задаются как степени соответствия альтернатив понятиям, определяемым критериями. При этом используется свёртка на основе операции пересечения нечётких множеств.

Пусть имеется множество из  $n$  альтернатив ( $n$  электромонтёров-кабельщиков):

$$A = \{ a_1, a_2, \dots, a_n \}.$$

Тогда для критерия  $B$  (опыт работы, уровень квалификации электромонтёра, степень ответственности, умение принимать правильное решение и пр.) может быть рассмотрено нечёткое множество

$$B = \{ \mu_B(a_1)/a_1, \mu_B(a_2)/a_2, \dots, \mu_B(a_n)/a_n \},$$

где  $\mu_B(a_i) \in [0, 1]$  – оценка альтернативы  $a_i$  по критерию  $B$ , характеризует степень соответствия альтернативы понятию, определяемому критерием  $B$ .

Поскольку в нашем случае критериев несколько, например,  $m: B_1, B_2, \dots, B_m$ , то лучшей считается альтернатива, удовлетворяющая каждому из них, т. е. для выбора наилучшей альтернативы можно применить правило пересечения соответствующих нечётких множеств:

$$C = B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_m.$$

Операции пересечения нечётких множеств соответствует операция  $\min$ , выполняемая над их функциями принадлежности. Тогда в качестве лучшей выбирается альтернатива  $a^*$ , имеющая наибольшее значение функции принадлежности:

$$\mu_C(a^*) = \max \mu_C(a_j), \quad j = \overline{1, n}.$$

Поскольку в нашем случае критерии  $B_i$  имеют различную важность, каждому из них приписывается число  $\alpha_i \geq 0$  (чем важнее критерий, тем больше это число), и правило выбора принимает вид:

$$C = B_1^{\alpha_1} \cap B_2^{\alpha_2} \cap \dots \cap B_m^{\alpha_m};$$

$$i = \overline{1, m}; \quad \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1.$$

Коэффициенты относительной важности определяются на основе процедуры парного сравнения критериев. Сначала формируется матрица  $D$ , элементы которой находятся в соответствии со шкалой оценок важности и удовлетворяют условиям:

$$d_{ii} = 1; \quad d_{ij} = 1/d_{ji}.$$

#### Шкала оценок важности

Относительная важность критериев $B_i$ и $B_j$	Элемент $d_{ij}$
Равная важность	1
Немного важнее	3
Важнее	5
Заметно важнее	7
Намного важнее	9
Промежуточные значения	2, 4, 6, 8

Затем находится  $w$  – собственный вектор матрицы  $D$ , соответствующий максимальному собственному значению  $\lambda_{\max}$ :

$$Dw = \lambda_{\max} w.$$

Искомые значения коэффициентов  $\alpha_i$  получаются из соотношения:

$$\alpha_i = m w_i.$$

При определении вероятностей пробоя муфт каждого электромонтёра-кабельщика руководство предприятия может поощрять обслуживающий персонал или составлять оптимальный месячный график проведения ремонтных работ, распределяя между кабельщиками работу так, чтобы снизить общую повреждаемость муфт в целом по сетям.

#### Библиографический список

1. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближённых решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
2. Коржов, А.В. Вероятностная оценка влияния факторов, сказывающихся на состоянии изоляции силовых кабельных линий в процессе эксплуатации / А.В. Коржов, Е.Ю. Юрченко // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: сб. материалов II Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Тольятти: ТГУ, 2007. – Ч. 1. – С. 131–133.
3. Коржов, А.В. Исследование факторов, влияющих на повреждаемость изоляции кабельных линий 6(10) кВ Курганских электрических сетей / А.В. Коржов, О.М. Малышева // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2009. – С. 169–174.